

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 3640698 A1

301/00  
51 Int. Cl. 4.  
C22C 21/12  
B 22 F 3 13

21 Aktenzeichen: P 36 40 698.8  
22 Anmeldetag: 28. 11. 86  
43 Offenlegungstag: 4. 6. 87

Behördeneigentum

DE 3640698 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31  
29.11.85 JP P60-268868

71 Anmelder:  
Nissan Motor Co., Ltd., Yokohama, Kanagawa, JP;  
NDC Co., Ltd., Narashino, Chiba, JP

74 Vertreter:  
Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing.  
Dr.-Ing.; Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal  
Tech; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob,  
P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Meister, W., Dipl.-Ing.; Hilgers, H., Dipl.-Ing.;  
Meyer-Plath, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Kinkeldey, U.,  
Dipl.-Biol. Dr.rer.nat.; Bott-Bodenhausen, M.,  
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 8000 München

72 Erfinder:  
Maki, Yoshihiro, Miura, JP; Matsuyama, Akira,  
Kamakura, JP; Tanizaki, Katsuji, Yokosuka, JP;  
Okabe, Noboru, Funabashi, JP; Kishida, Katsuhiko,  
Yokosuka, JP; Sakai, Takeshi, Chiba, JP; Ohgaki,  
Toshinaga, Yachiyo, JP; Fujita, Masahito, Funabashi,  
JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Lagerlegierung auf Aluminiumbasis und Verfahren zu deren Herstellung

Die Erfindung schafft eine Lagerlegierung auf Aluminiumbasis, die sowohl in der Schmierfähigkeit als auch der Ermüdungsbeständigkeit hervorragend ist und z. B. bei Automotoren verwendbar ist. Die Lagerlegierung besteht im wesentlichen aus zumindest einem Schmierungselement, wie Pb und/oder Sn, deren Gesamtmenge größer als 0,04 und nicht größer als 0,07 ist, nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix, Si, dessen Menge im Bereich von 0,01 bis 0,17 liegt, nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix, 0,2 bis 5,0 Gew.-% mindestens eines Verstärkungselementes wie Cu und/oder Cr, 0 bis 3,0 Gew.-% zumindest eines Verstärkungselementes wie Ti und/oder B und Al als Rest. Die Korngröße des (der) Schmierungselemente(s) ist nicht größer als 8 µm, und die Korngröße von Si ist nicht größer als 12 µm und vorzugsweise nicht kleiner als 6 µm. Die Lagerlegierung wird hergestellt, indem eine Rohmaterialmischung der Legierungspulver hergestellt wird, in der die Si-Körner durch Wärmebehandlung auf die gewünschte Größe wachsen, die Legierungspulvermischung in einen Barren gepreßt wird und der Barren bei einem Fließpreßverhältnis von nicht geringer als 10 fließgepreßt wird.

DE 3640698 A1

1. Lagerlegierung auf Aluminiumbasis, dadurch gekennzeichnet, daß sie im wesentlichen zumindest ein Schmierungselement, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Pb, Sn, In, Sb und Bi besteht, wobei deren Gesamtmenge größer als 0,04 und nicht größer als 0,07 ist, nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix, ein hartes Element, das Si ist und dessen Menge im Bereich von 0,01 bis 0,17 liegt, nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix, 0,2 bis 5,0 Gew.-% mindestens eines Verstärkungselementes, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe besteht, 0 bis 3,0 Gew.-% mindestens eines Verfeinungselementes, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Ti, B, Zr, V, Ga, Sc, Y und Elementen der Seltenen Erden der Atom-Nr. 57 bis 71 besteht, und Al als Rest besteht, wobei die Korngröße von zumindest einem Schmierungselement nicht größer als 8 µm ist, die Korngröße des Si nicht größer als 12 µm ist, die Lagerlegierung durch Fließpressen eines Barrens, der durch Pressen eines Legierungspulvers gebildet wurde, bei einem Fließpreßverhältnis von nicht geringer als 10 hergestellt wird und ihre Zugfestigkeit bei Normaltemperatur nicht geringer als 12 kgf/mm<sup>2</sup> (117 N/mm<sup>2</sup>) ist und die Dehnung bei Normaltemperatur nicht kleiner als 11% ist.
2. Lagerlegierung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Korngröße des Si nicht kleiner als 6 µm ist.
3. Lagerlegierung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Menge des Si nicht mehr als 0,08 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix beträgt.
4. Lagerlegierung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Pb und Sn gemeinsam als zumindest ein Schmierungselement ausgewählt sind.
5. Lagerlegierung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Verstärkungselement mindestens 0,01 Gew.-% beträgt und Cu umfaßt.
6. Verfahren zur Herstellung einer Lagerlegierung auf Aluminiumbasis nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Schritte:  
Erwärmen eines Pulvers einer ersten Legierung auf Aluminiumbasis, die im wesentlichen aus 8 bis 12 Gew.-% Pb, 0,4 bis 1,8 Gew.-% Sn, 1,0 bis 15 Gew.-% Si, 0,2 bis 5,0 Gew.-% zumindest eines Verstärkungselementes, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Cu, Cr, Mg, Mn, Zn und Fe besteht, und Al als Rest besteht, bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 550° C, bis die Si-Körner in dem Legierungspulver auf 6 bis 12 µm wachsen,  
Vermischen des ersten Legierungspulvers auf Aluminiumbasis nach der Erwärmungsstufe mit einem Pulver einer zweiten Legierung auf Aluminiumbasis, das mindestens ein Schmierungselement enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Pb, Sn, In, Sb und Bi besteht, so daß die resultierende Legierungspulvermischung die gleiche chemische Zusammensetzung wie die herzustellende Lagerlegierung aufweist, Pressen der Legierungspulvermischung in einen Barren und Fließpressen des Barrens bei einem Fließpreßverhältnis von nicht geringer als 10.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Legierung auf Aluminiumbasis 10 bis 20 Gew.-% Sn enthält.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Legierung auf Aluminiumbasis 1,0 bis 15 Gew.-% Si enthält.
9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Legierung auf Aluminiumbasis 0,2 bis 5,0 Gew.-% von zumindest einem Verstärkungselement enthält.
10. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Legierung auf Aluminiumbasis mindestens ein Verfeinungsmittel enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Ti, B, Zr, V, Ga, Sc, Y und Elementen der Seltenen Erden der Atomzahlen von 57 bis 71 besteht.
11. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Legierung auf Aluminiumbasis 1 bis 4 Gew.-% Pb zusammen mit Sn enthält.
12. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Barren bei einer Temperatur im Bereich von etwa 200 bis etwa 600° C fließgepreßt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß es weiterhin des Schritt des Glühens der fließgepreßten Legierung bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 550° C umfaßt.
14. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Pulver der ersten und zweiten Legierungen auf Aluminiumbasis ein zerstäubtes Pulver ist.
15. Verfahren zur Herstellung einer Lagerlegierung auf Aluminiumbasis nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Schritte:  
Erwärmen eines Pulvers einer Al-Si-Zweistofflegierung, die 8 bis 30 Gew.-% Si enthält, bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 550° C, bis die Si-Körner im Legierungspulver auf 6 bis 12 µm wachsen, Mischen des Al-Si-Legierungspulvers mit einem Pulver einer anderen Legierung auf Aluminiumbasis nach dem Erwärmungsschritt, das mindestens ein Schmierungselement, ausgewählt aus der Gruppe, die aus Pb, Sn, In, Sb und Bi besteht und mindestens ein Verstärkungselement enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe besteht, so daß die resultierende Legierungspulvermischung die gleiche chemische Zusammensetzung wie die herzustellende Lagerlegierung aufweist;  
Pressen der Legierungspulvermischung in einen Barren und Fließpressen des Barrens bei einem Fließpreßverhältnis von nicht geringer als 10.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Si-Gehalt in der Al-Si-Zweistofflegierung und das Verhältnis des Pulvers der Al-Si-Zweistoff-Legierung zum Pulver der anderen Legierung auf Aluminiumbasis so geregelt werden, daß die Menge des Si in der hergestellten Lagerlegierung auf Aluminiumbasis in den Bereich von 0,01 bis 0,08 fällt, nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix.

17. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die andere Legierung auf Aluminiumbasis mindestens ein Verfeinungselement enthält, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Ti, B, Zr, V, Ga, Sc, Y und Elementen der Seltenen Erden der Atom-Nr. 57 bis 71 besteht.

18. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die andere Legierung auf Aluminiumbasis Si enthält.

19. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Barren bei einer Temperatur im Bereich von etwa 200 bis etwa 600°C fließgepreßt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß es weiterhin den Schritt des Glühens der fließgepreßten Legierung bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 550°C umfaßt.

#### Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Lagerlegierung auf Aluminiumbasis, die mindestens ein weiches Schmierungsselement wie Pb, Sn und/oder Sb, Si als hartes Element und mindestens ein Verstärkungselement wie Cu und/oder Cr enthält und eine verbesserte Ermüdungsbeständigkeit aufweist, und auf ein Verfahren zur Herstellung dieser Lagerlegierung.

Einige Legierungsarten auf Kupferbasis wie Legierungen auf Cu-Pb-Basis und Legierungen auf Sn-Sb-Cu-Basis (Babbitt-Metall) werden schon lange als Lagerlegierungen für Gleitlager in verschiedenen Maschinen verwendet. In den letzten Jahren erzielten leichtgewichtige Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis erhöhte Aufmerksamkeit, insbesondere bei der Verwendung in Verbrennungsmotoren, bei denen gefordert ist, daß die Lagerlegierungen eine hohe Wärmebeständigkeit, Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Ermüdungsbeständigkeit aufweisen. Insbesondere Lagerlegierungen auf Al-Sn-Basis und Al-Sn-Pb-Basis sind bei den obengenannten Dauereigenschaften völlig besser als andere Legierungen auf Aluminiumbasis, so daß sich die Vorschläge und praktischen Anwendungen dieser Lagerlegierungen schnell vergrößern. Zum Beispiel zeigt die japanische Patentanmeldung Erstveröffentlichungsnummer 58-1 71 545 (1983) eine Lagerlegierung auf Al-Pb-Sn-Basis, die Si als harte Komponente und mindestens eines von Ni, Mn, Cr, V, Mg, Ti, Zn, Co und Zr als Verstärkungskomponente enthält und die durch Pressen einer Pulvermischung der Elementbestandteile und/oder ihrer Legierungen mit Aluminium oder Blei und Fließpressen der gepreßten Vorform nach Wärmebehandlung hergestellt wird.

Mit dem Fortschritt und der Hochentwicklung der Verbrennungsmotoren und insbesondere der Automotoren werden den Lagern in diesen Motoren strengere Bedingungen auferlegt. Zum Beispiel werden die Größen der Lager verringert, da die Gesamtgröße des Motors verringert wird, und die Belastungen der Lager werden erhöht, da die Ausgangsleistung des Motors erhöht wird. Folglich gibt es noch immer einen großen Bedarf zur Entwicklung hervorragender Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis. Insbesondere wird in hohem Maße gefordert, daß Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis in der Ermüdungsbeständigkeit verbessert sein sollten, da herkömmliche Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis gegenüber Reißen oder örtlichem Abplatzen des Stütz- bzw. Verstärkungs- bzw. Hinterstampfungsmetalls (nachfolgend als Stützmetall bezeichnet) innerhalb eines Zeitraumes anfällig sind, der aus praktischer Sicht nicht ausreichend ist.

Um den obengenannten Anforderungen gerecht zu werden, wurden in der japanischen Patentanmeldung, Erstveröffentlichungsnummer 61-12 844, veröffentlicht am 21. Januar 1986, eine Lagerlegierung auf Aluminiumbasis beschrieben, die sowohl eine hervorragende Schmierfähigkeit als auch Ermüdungsbeständigkeit aufweist. Diese Lagerlegierung enthält zumindest eines von Pb, Sn, In, Sb und Bi als Schmierungskomponente, Si als harte Komponente, und mindestens eines von Cu, Cr, Mg, Mn, Ni und Zn als Verstärkungskomponente. Die Schmierungskomponente ist einheitlich und fein in der Aluminiummatrix dispergiert und beträgt 0,006 bis 0,040 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix, und die Körner dieser Komponenten sind nicht größer als 8 µm. Si, das in der Aluminiummatrix dispergiert ist, beträgt 0,003 bis 0,060 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix und ist in der Korngröße nicht größer als 12 µm. Die Verstärkungskomponente beträgt 0,2 bis 5,0 Gew.-%. Es ist gefordert, daß die Lagerlegierung bei Normaltemperatur eine Zugfestigkeit von nicht geringer als 15 kgf/mm<sup>2</sup> (147,1 N/mm<sup>2</sup>) aufweist und ihre Dehnung bei Normaltemperatur nicht kleiner als 13,5% ist. Diese Lagerlegierung wird hergestellt, indem eine Mischung der Rohmateriallegierungspulver in einen Barren gepreßt wird und dieser Barren bei einer geeigneten Temperatur bei einem Fließpreßverhältnis von nicht kleiner als 10 fließgepreßt wird.

Die Lagerlegierung auf Aluminiumbasis nach JP 61-12 844 zeigt hervorragende Lagereigenschaften, solange das Schmieröl von hartem Fremdmaterial ziemlich frei ist. Diese Legierung hat jedoch keine hohe Fähigkeit, Fremdmaterial einzubetten, und folglich entsteht das Problem, daß sich die Lagerfähigkeit verringert, wenn eine beträchtliche Menge Fremdmaterial in das Schmieröl eintritt. Es besteht ein weiteres Problem. Manchmal und insbesondere dann, wenn das Gegenmaterial Gußeisen ist, wird die Lagerlegierung auf Aluminiumbasis durch die Haargrate zerkratzt, die auf der bearbeiteten Oberfläche des Gegenmaterials hauptsächlich um die Partikel von freiem Kohlenstoff herum vorhanden sind.

Bei Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis, die Si als hartes Element enthalten, ist es vom Standpunkt der Erhöhung der Verschleißfestigkeit der Lagerlegierung erwünscht, daß die Korngröße von Si nicht übermäßig gering ist. Im Falle der Herstellung einer Lagerlegierung dieser Art durch Fließpressen einer gepreßten Legierungspulvermischung sollte die fließgepreßte Legierung gewöhnlich einer Wärmebehandlung unterzogen werden, um feine Si-Körner, die in dem Ausgangspulver enthalten sind, auf einen geeigneten Wert, wie etwa 10 µm, wachsen zu lassen. Diese Behandlung ist jedoch nicht sehr leicht, wenn die Lagerlegierung relativ große Mengen von Schmierungselementen wie Pb und Sn enthält, da die Wärmebehandlung anfällig ist, eine Ausscheidung der Schmierungselemente mit niedrigem Schmelzpunkt wie Pb und Sn auf der Legierungsoberfläche zu bewirken, das als Schweißphänomen bekannt ist.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lagerlegierung auf Aluminiumbasis zu schaffen, die in ihren Lagereigenschaften, einschließlich der Fähigkeit Fremdmaterial einzubetten, und auch in der Ermüdungsbeständigkeit hervorragend ist und sogar unter harten Bedingungen praktisch vollständig anwendbar ist, wie sie durch die neuesten Automotoren auferlegt werden.

- 5 Es ist weiterhin Aufgabe der Erfindung, ein gutes Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Lagerlegierung auf Aluminiumbasis zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch eine Lagerlegierung auf Aluminiumbasis gelöst, die im wesentlichen aus mindestens einem Schmierungselement, ausgewählt aus Pb, Sn, In, Sb und Bi, wobei ihre Gesamtmenge mehr als 0,04 und nicht mehr als 0,07 beträgt, nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix, einem harten Element, das Si ist und dessen Menge im Bereich von 0,01 bis 0,17 liegt, nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix, 0,2 bis 5,0 Gew.-% mindestens eines Verstärkungselementes, ausgewählt aus Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe, 0–3,0 Gew.-% mindestens eines Verfeinerungs- bzw. Vergütungselementes (nachfolgend als Verfeinerungselement bezeichnet), ausgewählt aus Ti, B, Zr, V, Ga, Sc, Y und den Elementen der Seltenen Erden der Atomzahlen von 57 bis 71 und Al als Rest besteht. In der Lagerlegierung ist die Korngröße des (der) Verstärkungselemente(s) nicht größer als 8 µm, und die Korngröße von Si ist nicht größer als 12 µm. Es ist erforderlich, daß die Lagerlegierung eine Zugfestigkeit bei Normaltemperatur von nicht kleiner als 12 kgf/mm<sup>2</sup> (117,6 N/mm<sup>2</sup>) aufweist und ihre Dehnung bei Normaltemperatur nicht kleiner als 11% ist. Dieses Lagermaterial muß durch Fließpressen einer Vorform oder eines Barrens bei einem Fließpreßverhältnis von nicht geringer als 10 hergestellt werden, der durch Pressen eines Legierungspulvers hergestellt wurde.

- 20 Durch Vergleich der Lagerlegierung auf Aluminiumbasis, die in der japanischen Veröffentlichung Nr. 61-12 844 gezeigt ist, ist eine wesentliche Besonderheit der erfindungsgemäßen Lagerlegierung eine beträchtliche Erhöhung der Gesamtmenge des (der) Schmierelemente(s).

Hauptsächlich aus diesem Grund ist die erfindungsgemäße Lagerlegierung bei der Fähigkeit Fremdmaterial einzubetten stark verbessert, so daß diese Lagerlegierung lange gute Lagereigenschaften beibehält, sogar wenn eine beträchtliche Menge eines harten Fremdmaterials in dem Schmieröl vorhanden ist. Trotz des erhöhten Gehaltes des (der) Schmierungselemente(s) mit niedrigem Schmelzpunkt kann das bereits erwähnte Schwitzphänomen durch Durchführung einer Wärmebehandlung für das Wachstum der Si-Körner in dem Rohmaterial in geeigneter Weise und in einem geeigneten Abschnitt des Herstellungsverfahrens vermieden werden.

- 30 In der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, daß die Korngröße des Si, das in der Lagerlegierung dispergiert ist, im Bereich von 6 bis 12 µm liegt. Das Einstellen der Si-Korngröße auf einen solchen mittelmäßigen Wert ist bei der Erhöhung der Verschleißfestigkeit der Lagerlegierung effektiv, so daß, sogar wenn das Gegenmaterial Gußeisen mit Haargraten auf der bearbeiteten Oberfläche ist, die Legierung nicht leicht zerkratzt wird und demgegenüber Grate von dem Gegenmaterial entfernen kann.

Zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Lagerlegierung auf Aluminiumbasis ist das Ausgangsmaterial ein Legierungspulver, das hauptsächlich eine Mischung von mindestens zwei Arten von Legierungspulvern ist und einige Hilfselemente der Lagerlegierung enthalten kann, jedes in Form eines Elementarmetallpulvers. Das Legierungspulver wird in eine Vorform oder einen Barren gepreßt, z. B. durch ein hydraulisches Kaltpreßverfahren, und der Barren wird bei einem Fließpreßverhältnis von nicht kleiner als 10 gewöhnlich bei gemäßigt erhöhter Temperatur fließgepreßt. Es ist bevorzugt, das Wachsen der Siliciumkörner vor dem Pressen des Legierungspulvers durch Wärmebehandlung durchzuführen. Das Fließpressen des gepreßten Rohmaterials hat die Wirkung des Brechens des Oxidfilms auf den Oberflächen der einzelnen Partikel des Legierungspulvers und des Dispergierens des gebrochenen Oxidfilms in die Matrix der fließgepreßten Legierung. Folglich hat die Lagerlegierung, die durch Fließpressen des gepreßten Legierungspulvers erhalten wurde, eine gute Wärmebeständigkeit, wie gesinterte Aluminiumprodukte (SAP), und eine sehr gute Haftung zwischen den Pulverpartikeln wird erreicht.

- 45 Die erfindungsgemäße Lagerlegierung auf Aluminiumbasis hat ein ziemlich geringeres spezifisches Gewicht als herkömmliche Lagerlegierungen auf Kupferbasis, und diese Lagerlegierung ist sowohl in der Oberflächeneigenschaft oder der Schmierfähigkeit als auch der Ermüdungsbeständigkeit hervorragend. Das heißt, mit der vorliegenden Erfindung ist es gelungen, eine Lagerlegierung auf Aluminiumbasis zu schaffen, die die gegensätzlichen Anforderungen bezüglich Weichheit und Festigkeit erfüllt. Diese Lagerlegierung ist praktisch vollständig anwendbar und hat eine lange Haltbarkeit, sogar unter solchen strengen Bedingungen, wie sie durch die neuesten Automotoren auferlegt werden. Darüber hinaus hat diese Lagerlegierung eine gute Fähigkeit, Fremdmaterial einzubetten, so daß die Schmierfähigkeit durch das Vorhandensein einiger harter Fremdmaterialien in dem Schmieröl nicht ernsthaft verschlechtert wird.

- 50 Die erfindungsgemäßen Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis sind zur Verwendung bei Autos und anderen Fahrzeugen, Werkzeugmaschinen, landwirtschaftlichen Maschinen usw. als Grundmaterial der Lager und anderer Teile, die gleitendem Kontakt unterzogen sind, sehr geeignet.

Die vorliegende Erfindung schafft bevorzugte Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis.

- 60 Ein bevorzugtes erstes Verfahren umfaßt die Schritte: Erwärmen des Pulvers einer ersten Legierung auf Aluminiumbasis, die im wesentlichen aus 8 bis 12 Gew.-% Pb, 0,4 bis 1,8 Gew.-% Sn, 1,0 bis 15 Gew.-% Si, 0,2 bis 5,0 Gew.-% mindestens eines Verstärkungselementes, ausgewählt aus Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe, und Aluminium als Rest besteht, bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 550°C, bis die Si-Körner in dem Legierungspulver auf 6 bis 12 µm wachsen, Mischen des ersten Legierungspulvers auf Aluminiumbasis mit einem Pulver einer zweiten Legierung auf Aluminiumbasis nach dem Erwärmungsschritt, das mindestens ein Schmierungselement enthält, das aus Pb, Sn, In, Sb und Bi ausgewählt ist, so daß die resultierende Legierungspulvermischung die gleiche chemische Zusammensetzung wie die herzustellende Lagerlegierung aufweist, Pressen der Legierungspulvermischung in einen Barren und Fließpressen des Barrens bei einem Fließpreßverhältnis von

nicht kleiner als 10.

Je nach Bedarf kann die zweite Legierung auf Aluminiumbasis zusätzlich eine relativ geringe Menge Si, zumindest ein Verstärkungselement und/oder zumindest ein Verfeinerungselement enthalten. Wenn die zweite Legierung auf Aluminiumbasis Si enthält, kann das Wachsen der Si-Körner, die in dieser Legierung enthalten sind, durch Glühen der fließgepreßten Legierung bei einer geeigneten Temperatur oder durch Erwärmen des zweiten Legierungspulvers bei 350 bis 550°C durchgeführt werden, ehe dieses mit dem ersten Legierungspulver vermischt wird.

Ein bevorzugtes zweites Verfahren umfaßt die Schritte: Erwärmen eines Pulvers einer Al-Si-Zweistofflegierung, die 8 bis 30 Gew.-% Si enthält, bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 550°C, bis die Si-Körner in diesem Legierungspulver auf 6 bis 12 µm wachsen, Mischen des Al-Si-Zweistofflegierungspulvers mit einem Pulver einer anderen Legierung auf Aluminiumbasis nach dem Erwärmungsschritt, das mindestens ein Schmierungsselement, ausgewählt aus Pb, Sn, In, Sb und Bi und mindestens ein Verstärkungselement, ausgewählt aus Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe enthält, so daß die resultierende Legierungspulvermischung die gleiche chemische Zusammensetzung wie die herzustellende Lagerlegierung aufweist, Pressen der Legierungspulvermischung in einen Barren und Fließpressen des Barrens bei einem Fließpreßverhältnis von nicht kleiner als 10.

Je nach Bedarf kann diese andere Legierung auf Aluminiumbasis zusätzlich eine relativ geringe Menge Si und/oder mindestens ein Verfeinerungselement enthalten. Wenn diese Legierung Si enthält, kann das Wachsen der Si-Körner, die in dieser Legierung enthalten sind, durch Glühen der fließgepreßten Legierung bei einer geeigneten Temperatur oder durch Erwärmen dieses Legierungspulvers bei 350 bis 550°C durchgeführt werden, bevor es mit dem Al-Si-Legierungspulver vermischt wird.

Es ist bevorzugt, daß die Si-Menge in einer erfindungsgemäßen Lagerlegierung auf Aluminiumbasis im Bereich von 0,01 bis 0,08 liegt, nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix, insbesondere wenn die Lagerlegierung nach dem oben dargelegten zweiten Verfahren hergestellt wird.

Die beigefügten Figuren zeigen:

Fig. 1 ein Fließschema des Herstellungsverfahrens einer erfindungsgemäßen Lagerlegierung, das im Beispiel 1 dieser Erfindung angewendet wird,

Fig. 2 ein Schema, das die Ergebnisse der Untersuchung der Ermüdungsbeständigkeit verschiedener Arten von Lagerlegierungen zeigt, die in Beispiel 1 und Vergleichsbeispiel 1 hergestellt wurden,

Fig. 3 ein Fließschema des Verfahrens der Bearbeitung einer fließgepreßten Lagerlegierung in ein Lager, das in Beispiel 5 der Erfindung angewendet wird,

Fig. 4 ein Schema, das die Ergebnisse der Untersuchung der Ermüdungsbeständigkeit bei verschiedenen Lagerlegierungsarten zeigt, die in den Beispielen 5 und 6 und dem Vergleichsbeispiel 2 hergestellt wurden, und

Fig. 5 ein Schema, das die Ergebnisse der gleichen Untersuchung der Ermüdungsbeständigkeit bei verschiedenen Lagerlegierungsarten zeigt, die in den Beispielen 7 und 8 und dem Vergleichsbeispiel 3 hergestellt wurden.

In einer erfindungsgemäßen Lagerlegierung auf Aluminiumbasis wird jedes oder jede Kombination von Pb, Sn, In, Sb und Bi als Schmierungskomponente verwendet. Diese Elemente erzielen eine gute Antiblockiereigenschaft der Lagerlegierung, wenn sie fein und einheitlich in der Aluminiummatrix dispergiert sind. Es ist wichtig, daß die Gesamtmenge des (der) Schmierungselemente(s) durch Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix mehr als 0,04 und nicht mehr als 0,07 betragen sollte. Wenn die Gesamtmenge des (der) Schmierungselemente(s) nicht mehr als 0,04 nach dem Querschnittsflächenverhältnis beträgt, wird die Lagerlegierung keine sehr gute Fähigkeit des Einbettens von Fremdmaterial aufweisen, und wenn die Gesamtmenge dieser mehr als 0,07 beträgt, wird die Lagerlegierung eine unzureichende Ermüdungsbeständigkeit aufweisen und die Anforderungen auf die Lagerleistung bezüglich der Belastungsdauer nicht erfüllen. Es ist bevorzugt, daß die Lagerlegierung mindestens Pb und/oder Sn enthält. Die Korngrößen der Schmierungselemente sollten nicht größer als 8 µm sein, da der erwartete Antiblockiereffekt nicht voll erhalten werden kann, wenn die Korngrößen größer sind.

Als harte Komponente der erfindungsgemäßen Lagerlegierung wird Si in der Aluminiummatrix entweder als eutektische Kristalle oder primäre Kristalle dispergiert, um eine Rolle beim Erhöhen der mechanischen Festigkeit und der Verschleißfestigkeit der Lagerlegierung zu spielen. Nach der Erfindung ist es geeignet, daß Si von etwa 25 bis etwa 250% der oben beschriebenen Schmierungskomponente nach der Querschnittsfläche beträgt. Bei dieser Überlegung wird die Si-Menge in der Lagerlegierung so beschrieben, daß sie im Bereich von 0,01 bis 0,17 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix liegen soll. Wenn eine größere Menge Si enthalten ist, wird die Lagerlegierung brüchig und in der Bearbeitbarkeit schlecht. Wegen der erhöhten Menge der Schmierungskomponente kann der Gehalt an Si in dieser Erfindung höher als die obere Grenze in den Lagerlegierungen nach JP 61-12 844 festgelegt werden. Wenn eine erfindungsgemäße Lagerlegierung und eine Lagerlegierung nach JP 61-12 844 die gleiche Menge Si enthalten, ist die erstere Lagerlegierung besser verarbeitbar. Wenn die Bearbeitbarkeit der letzteren Lagerlegierung an einem völlig ausreichenden Niveau ist, ist es möglich, den Gehalt an Si in der ersten Lagerlegierung zu erhöhen, um dadurch die mechanische Festigkeit und Verschleißfestigkeit zu erhöhen, ohne die Verarbeitbarkeit zu opfern.

Die Korngröße des Si, das in der Lagerlegierung dispergiert ist, sollte nicht größer als 12 µm sein. Wenn die Korngröße des Si größer als 12 µm ist, wird die Lagerlegierung wahrscheinlich ein Gegenmaterial beschädigen und außerdem durch die Verringerung der Oberflächendichte des dispergierten Siliciums eine relativ geringe Verschleißfestigkeit erhalten. Es ist jedoch nicht erwünscht, die Korngröße des Si unbegrenzt zu verringern. In der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, daß die Korngröße von Si im Bereich von 6 bis 12 µm liegt. Es wurde experimentell bestätigt, daß, wenn die Korngröße von Si kleiner als 6 µm ist, die Fähigkeit der Lagerlegierung, kleine Grate aus einem Gegenmaterial zu entfernen, das ein gegossenes und maschinell bearbeitetes Material sein kann, nicht groß genug ist.

Die Aluminiummatrix der erfindungsgemäßen Lagerlegierung wird durch Einarbeitung von zumindest einem Verstärkungselement verstärkt, das aus Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe ausgewählt ist, die oft als Legierungshilfs-



elemente in Aluminiumlegierungen verwendet werden, die gezogen oder fließgepreßt werden sollen. Es ist bevorzugt, Cu immer für Verstärkungszwecke zu verwenden, da Cu bei der Erhöhung der Kriechfestigkeit, und zwar der Beständigkeit gegenüber Erweichen bei hohen Temperaturen, der Lagerlegierung sehr effektiv ist und einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Ermüdungsbeständigkeit der Lagerlegierung unter Gleitkontaktbedingungen bei hohen Temperaturen leistet. Solche Effekte von Cu bleiben unzureichend, wenn der Gehalt von Cu kleiner als 0,2 Gew.-% ist. Das Vorhandensein von mehr als 5,0 Gew.-% Cu macht die Lagerlegierung aufgrund des Ausfallens einer beträchtlichen Menge von  $\text{CuAl}_2$  in Form nadelähnlicher Kristalle brüchig und relativ wenig ermüdungsbeständig. Zusammen mit Cu kann die Lagerlegierung jedes oder jede Kombination von Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe enthalten. In jedem Fall sollte die Gesamtmenge des (der) Verstärkungselemente(s) in der Lagerlegierung im Bereich von 0,2 bis 5,0 Gew.-% liegen.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen wesentlichen Komponenten kann eine erfindungsgemäße Lagerlegierung möglicherweise mindestens ein Hilfselement enthalten, das aus Ti, B, Zr, V, Ga, Sc, Y und Elementen der Seltenen Erden der Atomzahlen von 57 bis 71 ausgewählt ist und als Kornverfeinungsmittel dient, um zur feinen und einheitlichen Dispergierung der Schmierungskomponente beizutragen. Es ist geeignet, daß der Gesamtgehalt des (der) Verfeinungselemente in der Lagerlegierung nicht größer als 3,0 Gew.-% ist. Der geringste Gehalt dieser ist nicht spezifiziert, da ihre Verwendung frei wählbar ist, obwohl der Gesamtgehalt mindestens 0,01 Gew.-% sein muß, um die erwartete Wirkung zu erhalten.

Die erfindungsgemäße Lagerlegierung wird in Form eines fließgepreßten Teiles geschaffen, und das Ausgangsmaterial ist ein Legierungspulver, dessen chemische Zusammensetzung in Übereinstimmung mit der oben beschriebenen Zusammensetzung der Lagerlegierung steht. Das Legierungspulver kann eine Mischung von zwei oder mehreren Legierungsarten sein, jede davon liegt in Pulverform vor. Es ist wesentlich, das Legierungspulver zuerst in einen Barren einer geeigneten Form zu pressen, bevor das Fließpressen durchgeführt wird. Wenn das Ausgangsmaterial eine Pulvermischung ist, in der zumindest ein Teil der wesentlichen Komponenten der Lagerlegierung in Form eines Elementarmetallpulvers vorliegt, und, falls eine solche eine Mischung dem Fließpressen unterzogen wird, hat das fließgepreßte Teil nicht nur Oberflächendefekte, sondern ebenfalls innere Risse an den Partikelgrenzschichten. Bei Verwendung eines Legierungspulvers, das kein Elementarmetallpulver enthält, und Pressen dieses Legierungspulvers in einen Barren als Vorform, der dem Fließpressen unterzogen wird, ist es möglich, ein ordentlich fließgepreßtes Lagerlegierungsteil fließzupressen. In dem verwendeten Legierungspulver sind die einzelnen Partikel in der Härte einheitlich oder voneinander nicht sehr verschieden, verglichen mit einer Mischung aus Legierungspulvern und Elementarmetallpulver. Wenn ein Preßteil des Legierungspulvers fließgepreßt wird, wird ein Brechen des Oxidfilms auf der Oberfläche der Legierungspartikel durch Reibung zwischen den Partikeln einheitlich stattfinden und wird unmittelbar darauf von metallischer Bindung gefolgt werden.

Beim Fließpressen des obengenannten Barrens muß das Fließpreßverhältnis 10 betragen. Bei einem geringen Fließpreßverhältnis ist es wahrscheinlich, daß das fließgepreßte Lagerlegierungsteil innere Defekte aufweist und/oder an Oberflächenrissen leidet, und deshalb ist es schwierig, ein praktisch anwendbares Lagerlegierungsteil zu erhalten. In dieser Erfindung ist es nicht notwendig, eine strenge obere Grenze für das Fließpreßverhältnis festzulegen. Ein beliebiges und beträchtlich hohes Fließpreßverhältnis kann eingesetzt werden, soweit das Fließpressen praktisch anwendbar ist und innerhalb der Kapazität der verfügbaren Vorrichtung liegt. Wenn das Legierungspulver direkt dem Fließpressen unterzogen wird, ohne vorher in einen Barren gepreßt zu sein, ist es wegen des Auftretens von Oberflächenrissen und inneren Defekten schwierig, ein praktisch anwendbares Lagerlegierungsteil zu erhalten. Bei den durchgeführten Versuchen war es nicht möglich, durch direktes Fließpressen eines Legierungspulvers ordnungsgemäß fließgepreßte Lagerlegierungsteile zu erhalten, sogar wenn das Fließpreßverhältnis größer als 20 war.

Deshalb ist es als Vorstufe zum Fließpressen unerlässlich, das Legierungspulver in einen Barren oder eine Vorform zu pressen. Das Pressen wird durch ein geeignetes Preßverfahren wie ein hydraulisches Kaltpreßverfahren oder durch Formen in einer Metallform durchgeführt.

Die Art und Weise des Fließpressens des Barrens ist beliebig. Ein einachsiges Vorwärtsfließpressen mit einer senkrechten oder waagerechten Fließpreßvorrichtung ist in Anbetracht der hohen Produktivität, der einfachen Wartung der Anlage und der stabilen Qualität des Produktes an geeignetsten. Die Fließpreßtemperatur beeinflusst die Härte der fließgepreßten Lagerlegierung, die Fließpreßgeschwindigkeit und das ordnungsgemäße Aussehen der Form beim Fließpressen. Im allgemeinen wird das Fließpressen leicht, wenn die Fließpreßtemperatur höher ist. Wenn jedoch die Legierungsvorform relativ große Mengen weicher Elemente und Elemente mit niedrigem Schmelzpunkt wie Pb und Sn enthält, bewirkt das Fließpressen bei unmäßig hohen Temperaturen das Ausschwitzen der weichen Elemente und ergibt kein gutes Ergebnis. Deshalb sollte in Anbetracht sowohl der Härte der Legierungsmatrix in den Partikeln des Rohmaterials und des Gehaltes der Elemente mit geringem Schmelzpunkt im gleichen Material eine geeignete Fließpreßtemperatur ausgewählt werden. Zum Beispiel liegt im Falle der Legierung Nr. 1, nachfolgend beschrieben und in Tabelle 1 gezeigt, die geeignete Fließpreßtemperatur bei etwa 500°C und für eine andere Legierung Nr. 3 (ebenfalls in Tabelle 1 gezeigt), die größere Mengen von Elementen mit geringem Siedepunkt enthält, liegt die geeignete Fließpreßtemperatur bei etwa 380°C. Im allgemeinen wird das Fließpressen der erfindungsgemäßen Lagerlegierung bei 200 bis 600°C durchgeführt.

In einem bevorzugten ersten Verfahren der Herstellung einer erfindungsgemäßen Lagerlegierung ist das Ausgangsmaterial eine Mischung eines ersten Legierungspulvers auf Aluminiumbasis und eines zweiten Legierungspulvers auf Aluminiumbasis, wie es bereits erwähnt wurde. Es ist geeignet, sowohl das erste als auch das zweite Legierungspulver durch ein Zerstäubungsverfahren herzustellen.

Die erste Legierung auf Aluminiumbasis, die einen Hauptanteil an Si liefert, der in der Lagerlegierung enthalten sein soll, enthält 8 bis 12 Gew.-% Pb, 0,4 bis 1,8 Gew.-% Sn, 1,0 bis 15 Gew.-% Si und 0,2 bis 5,0 Gew.-% von zumindest einem Verstärkungselement, ausgewählt aus Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe. Es ist eine Anforderung

nung an die erfindungsgemäße Lagerlegierung, daß die Korngröße des Si, das als hartes Element enthalten ist, nicht größer als 12 µm ist, und vorzugsweise im Bereich von 6 bis 12 µm liegt. In den zerstäubten Pulvern der Si-haltigen Legierungen auf Aluminiumbasis ist die Korngröße von Si gewöhnlich so fein wie etwa 3 µm oder noch feiner. Deshalb wird in dem erfindungsgemäßen Verfahren das erste Legierungspulver einer Wärmebehandlung unterzogen, die bewirkt, daß die Si-Körner auf ein Ausmaß von 6 bis 12 µm wachsen. Die Wärmebehandlung wird bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 550°C durchgeführt. Bei Temperaturen unter 350°C erfordert die Wärmebehandlung einen sehr langen Zeitraum und ist deshalb praktisch nicht anwendbar. Wenn andererseits die Wärmebehandlungstemperatur oberhalb 550°C ist, wird ein Teil der Si-Körner zu grob, und die Kristallkörner der Matrix werden ebenfalls größer.

In der ersten Legierung auf Aluminiumbasis ist der Sn-Gehalt auf nur 0,4 bis 1,8 Gew.-% begrenzt, wobei es beabsichtigt ist, die Menge von Sn auf 5 bis 15% des gleichzeitig vorhandenen Pb zu begrenzen. Dies erfolgt, da Sn bei der Befechtbarekeit mit der Aluminiummatrix besser Pb ist und folglich anfälliger ist, das Schwitzphänomen bei hohen Temperaturen zu zeigen, und ebenfalls da das Vorhandensein einer geringen Menge von Sn zur Verhinderung der Korrosion von Pb erwünscht ist. In der gleichen Legierung wird der Gehalt von Pb auf 8 bis 12 Gew.-% spezifiziert. Wenn der Gehalt an Pb in dieser Legierung kleiner als 8 Gew.-% ist, wird die Lagerlegierung als Endprodukt in ihren Lagereigenschaften unzureichend sein, wenn jedoch der Gehalt an Pb größer als 12 Gew.-% ist, ist es wahrscheinlich, daß während der obengenannten Wärmebehandlung des Legierungspulvers das Schwitzphänomen auftritt. In der ersten Legierung wird der Gehalt an Si und dem (den) Verstärkungselement(en) unter Inbetrachtung der Zusammensetzung und der Lagereigenschaften der herzustellenden Lagerlegierung bestimmt. Bei dem ersten Legierungspulver auf Aluminiumbasis allein übersteigt die Gesamtmenge der Schmierungs-elemente, nämlich Pb und Sn, 0,04 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix nicht. Um eine Lagerlegierung auf Aluminiumbasis herzustellen, in der die Gesamtmenge der Schmierungs-elemente größer als 0,04 und nicht größer als 0,07 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix ist, wird das erste Legierungspulver mit einem Pulver einer zweiten Legierung auf Aluminiumbasis vermischt, die mindestens ein Schmierungs-element, ausgewählt aus Pb, Sn, In, Sb und Bi, zusammen mit Si und zumindest ein Verstärkungselement, ausgewählt aus Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn und Fe enthält. Wahlweise kann die zweite Legierung zumindest ein Kornverfeinerungselement enthalten, ausgewählt aus Ti, B, Zr, V, Ga, Sc, Y und Elementen der Seltenen Erden der Atomzahlen von 57 bis 71. Die chemische Zusammensetzung der zweiten Legierung auf Aluminiumbasis und das Verhältnis des zweiten Legierungspulvers zum ersten Legierungspulver werden selektiv bestimmt, so daß die Zusammensetzung der Legierungspulvermischung mit der Zusammensetzung der herzustellenden Lagerlegierung übereinstimmt.

Wenn es beabsichtigt ist, eine Legierung auf Aluminiumbasis zu erhalten, in der Pb mehr als 0,04 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix beträgt, müssen wegen des hohen spezifischen Gewichtes von Pb mehr als 15 Gew.-% Pb dem Al zugegeben werden. Es ist jedoch ziemlich unpraktisch, ein Legierungspulver auf Aluminiumbasis zu verwenden, das eine solch große Menge Pb enthält, da es beim Zerstäuben einer solchen Legierung notwendig wird, die Temperatur der geschmolzenen Legierung bei etwa 1200°C zu halten, um die große Menge Pb in der Aluminiummatrix fein und einheitlich zu dispergieren.

Deshalb ist es, eher als eine Zugabe von Pb, bevorzugt, das Querschnittsflächenverhältnis der Schmierungskomponente der erhaltenen Endlegierung zu erhöhen, indem Sn in Form eines Legierungspulvers auf Al-Sn-Basis dem ersten Legierungspulver zugegeben wird. Wegen der schlechten Dispergierbarkeit des zugegebenen Sn in der Legierungsmatrix und den unzureichenden Lagereigenschaften der Lagerlegierung als Endprodukt ist es nicht wünschenswert, elementares Sn-Pulver für den gleichen Zweck zu verwenden. Im Vergleich ist die Dispergierbarkeit von Sn, zugegeben in Form eines zerstäubten Pulvers einer Legierung auf Al-Sn-Basis, weit besser. Es ist bevorzugt, ein Legierungspulver auf Al-Sn-Basis zu verwenden, das mindestens 10 Gew.-% Sn enthält, so daß die hergestellte Lagerlegierung gute Lagereigenschaften aufweisen kann und nicht mehr als 20 Gew.-% Sn enthält, so daß das nachfolgende Heißfließpressen ohne Auftreten des Schwitzphänomens durchgeführt werden kann. Um eine hervorragende Lagerlegierung zu erhalten, ist es bevorzugt, das Legierungspulver auf Al-Sn-Basis 1,0 bis 15 Gew.-% Si, 0,2 bis 5,0 Gew.-% mindestens eines Verstärkungselementes, ausgewählt aus Cu, Cr, Mg, Ni, Zn, und möglicherweise eine geeignete Menge zumindest eines Kornverfeinerungselementes enthält. Für die weitere Verbesserung der Lagereigenschaften der abschließend erhaltenen Legierung ist es ebenfalls effektiv, eine geringe Menge Pb in die Legierung auf Al-Sn-Basis einzuarbeiten. In diesem Fall ist es geeignet, den Gehalt an Pb in dem Legierungspulver auf Al-Sn-Basis im Bereich von 1 bis 4 Gew.-% zu bestimmen, unter Beachtung des Gehaltes an Sn in der gleichen Legierung, um kein Schwitzphänomen im nachfolgenden Abschnitt des Heißfließpressens zu bewirken.

In dem oben beschriebenen ersten Herstellungsverfahren muß besondere Sorgfalt aufgewendet werden, um das Schwitzphänomen in der Wärmebehandlung des ersten Legierungspulvers auf Aluminiumbasis oder beim Fließpressen der gepreßten Legierungspulvermischung zu vermeiden. In Anbetracht dieser Tatsache wird in einem zweiten bevorzugten Verfahren der Herstellung einer erfindungsgemäßen Lagerlegierung ein Al-Si-Legierungspulver, das kein Schmierungs-element enthält, als einzige Si-Quelle verwendet. D. h. ein zerstäubtes Pulver einer Al-Si-Zweistofflegierung, das 8 bis 30 Gew.-% Si enthält, wird als Si-Quelle verwendet. Das Al-Si-Legierungspulver wird vorbereitend einer Wärmebehandlung unterzogen, damit die Si-Körner bis auf ein Ausmaß von 6 bis 12 µm wachsen können. Es ist geeignet, die Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 350 bis 550°C durchzuführen. Wenn die Si-Körner in dem Legierungspulver durch die Wärmebehandlung einmal auf 6 bis 12 µm gewachsen sind, findet ein weiteres Wachstum der Si-Körner während des Verfahrens der Herstellung der Lagerlegierung schwer statt, solange das Fließpreßbearbeiten des Rohmaterials und das Glühen des fließgepreßten Produktes bei Temperaturen durchgeführt werden, die für die Vermeidung des Schwitzphänomens geeignet sind.

Folglich bleibt die Korngröße des Si in der abschließend erhaltenen Lagerlegierung auf dem gewünschten

Niveau von 6 bis 12  $\mu\text{m}$ . Der Gehalt an Si in dem Al-Si-Zweistofflegierungspulver sollte mindestens 8 Gew.-% betragen, da es sonst schwierig ist, eine Lagerlegierung herzustellen, die eine ausreichend hohe Verschleißfestigkeit aufweist, und er sollte nicht mehr als 30 Gew.-% betragen, da es sonst hauptsächlich wegen der kritischen Oxidation und auch da das Legierungspulver brüchig wird, schwierig ist, das Zerstäuben der Legierung stabil durchzuführen.

In der anschließend erhaltenen Lagerlegierung muß die Si-Menge mindestens 0,01 nach dem Querschnittsverhältnis zur Aluminiummatrix betragen. Wenn die Si-Menge kleiner ist, wird die Verschleißfestigkeit der Lagerlegierung unzureichend. Die Höchstmenge von Si in der Lagerlegierung beträgt 0,17 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zur Aluminiummatrix. Wenn eine größere Menge Si enthalten ist, wird die Antiblockiereigenschaft der Lagerlegierung unbefriedigend. Es ist bevorzugt, die Si-Menge in der Lagerlegierung auf den Bereich von 0,01 bis 0,08 nach dem Querschnittsflächenverhältnis zu begrenzen, da es notwendig wird, wenn die Si-Menge größer als 0,08 ist, eine sehr große Menge des Al-Si-Zweistofflegierungspulvers zu verwenden. Wie bereits erwähnt, wird das Al-Si-Zweistofflegierungspulver nach der Wärmebehandlung mit einem Pulver einer anderen Legierung auf Aluminiumbasis vermischt, das geeignete Mengen von mindestens einem Schmierungs-  
 15 element, mindestens einem Verstärkungselement und möglicherweise mindestens einem Kornverfeinerungselement enthält, so daß die Zusammensetzung der Legierungspulvermischung mit der Zusammensetzung der herzustellenden Lagerlegierung übereinstimmt. Die Legierungspulvermischung wird in einen Barren gepreßt, und der Barren wird bei einem Fließpreßverhältnis von nicht kleiner als 10 fließgepreßt.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Beispiele verdeutlicht.

#### Beispiel 1

Sieben Arten von Legierungen auf Aluminiumbasis, nämlich die Nummern 1 bis 7 der in Tabelle 1 gezeigten Zusammensetzungen, wurden durch Schmelzen der Rohmaterialien bei 950 bis 1000°C in einem Elektroofen  
 25 hergestellt.

Jede Legierung wurde in der Weise bearbeitet, wie es in Fig. 1 dargestellt ist. In dem Schritt 101 wurde durch Luftzerstäubungsverfahren zuerst ein Legierungspulver aus der geschmolzenen Legierung hergestellt, das aus Partikeln von -18 mesh (0,912 mm) bestand. Beim Schritt 102 wurde durch ein hydraulisches Kaltpreßverfahren das Legierungspulver in einen zylindrischen Barren von 100 mm Durchmesser und 100 mm Länge gepreßt. Der  
 30 hydraulische Druck betrug 2000 kgf/cm<sup>2</sup> (19 613 N/cm<sup>2</sup>). Beim Schritt 103 wurde der Barren dem Vorwärtsfließpreßpressen unterzogen, um eine Legierungsplatte zu erhalten, die 60 mm breit und 1,6 mm dick war. Die Fließpreßtemperatur war innerhalb des Bereiches von 250 bis 550°C veränderlich, was von der chemischen Zusammensetzung der Legierung abhängig war. Proben der fließgepreßten Legierung wurden bei Normaltemperatur einer Zerreißprobe unterzogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 gezeigt. Der nächste Schritt 104 war die  
 35 Wärmebehandlung der fließgepreßten Legierungsplatte, vorbereitend auf das Plattierungsverfahren. Beim Schritt 105 wurde die Legierungsplatte mit einer Stahlplatte plattiert, die als Stützmetall eingesetzt wurde, indem die beiden Platten zusammengewalzt wurden. Beim Schritt 106 wurde das Lagermaterial, das durch das Plattieren erhalten wurde, bei 400°C 6 h lang geglüht.



Tabelle 1

Legierungs-Nr.	Legierungselemente																Mechanische Eigenschaften der fließgepreßten Legierung			
	Schmelzelemente (Querschnittsverhältnis zur Al-Matrix)				Versärfungselemente (Gew.-%)				Kornverfeinerungselemente (Gew.-%)				Zugfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )	Dehnung (%)						
	Pb	Sn	In	Sb	Bi	Si	Cu	Cr	Mg	Mn	Ni	Zn			Ti	B	Zr	V	Ga	Cer-Eisen
1	0.04	—	0.001	—	—	0.01	0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	138.2	15.1
2	0.03	0.04	—	—	—	0.06	0.7	—	—	—	—	—	—	—	0.5	—	—	—	140.1	13.9
3	0.03	0.03	—	0.005	0.005	0.17	0.7	—	—	—	—	—	—	0.1	—	0.2	—	—	146.0	11.9
4	0.03	0.02	0.001	—	—	0.13	0.7	0.25	0.25	0.25	0.25	0.4	—	—	—	—	0.01	—	171.5	12.1
5	0.04	0.005	—	0.005	—	0.04	0.4	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	—	—	126.4	15.5
6	0.035	0.015	—	—	0.001	0.04	0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.0	136.2	14.7
7	0.04	—	0.001	—	—	0.01	0.7	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	—	—	140.1	15.3
11	0.03	0.005	—	—	—	0.10	0.7	—	—	—	—	—	0.1	0.1	—	—	—	—	146.0	13.8
12	0.04	0.04	—	—	0.001	0.10	0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	109.8	10.7
13	0.03	0.04	—	—	—	0.06	0.7	—	—	—	—	—	—	—	0.5	—	—	—	137.2	13.5
14	0.03	0.03	—	0.005	0.005	0.17	0.7	—	—	—	—	—	—	0.1	—	0.2	—	—	141.1	11.0

Anmerkungen: Korngröße der weichen (Schmierungs-) Phase:  $\leq 8 \mu\text{m}$  in den Legierungen Nr. 1 bis 12 und Nr. 14, 10–15  $\mu\text{m}$  in Nr. 13.  
Korngröße von Si:  $\leq 12 \mu\text{m}$  in den Legierungen Nr. 1 bis 13, 14–20  $\mu\text{m}$  in Nr. 14.

Die so hergestellten sieben Lagermaterialarten Nr. 1 bis 7 wurden entsprechend in Lagerproben bearbeitet, die einer Untersuchung der Ermüdungsbeständigkeit unter den folgenden Bedingungen unterzogen wurden.

Abmessung des Lagers: 54 mm Breite, 12 mm Länge, 1,5 mm Dicke

Vereinigte Lagerbelastung: 600 kgf/cm<sup>2</sup> (5880 N/mm<sup>2</sup>)

Umdrehungen: 3750 rpm (U/min)

Schmieröl: SAE 20W-40

Öltemperatur: 120°C

Ölzufuhrdruck: 4,0 kgf/cm<sup>2</sup> (39,2 N/cm<sup>2</sup>)

Fremdmaterial im Öl: Eisenspanpulver (— 145 mesh (0,105 mm)), 200 mg/l

Versuchszeit: bis zu 200 h

Achsenmaterial: unlegierter Maschinenbaustahl S45C

Rauheit der Achsenoberfläche ( $R_{max}$ ): 0,8 µm

Härte der Achse (HrC): etwa 55

Fig. 2 zeigt die Ergebnisse der Ermüdungsuntersuchung des Lagers.

#### Vergleichsbeispiel 1

Vier Arten von Legierungen als Aluminiumbasis, nämlich Nr. 11 bis 14 der in Tabelle 1 gezeigten Zusammensetzung wurden nach dem gleichen Verfahren wie in Beispiel 1 hergestellt.

Die Legierung Nr. 11 hatte einen geringen Gesamtgehalt der Schmierselemente, und die Legierung Nr. 12 hatte einen übermäßig hohen Gehalt der gleichen Elemente. Diese zwei Legierungsarten wurden jede in der in Fig. 1 gezeigten und in Beispiel 1 beschriebenen Weise bearbeitet, und die erhaltenen Lagermaterialien wurden jedes in Lagerproben bearbeitet, die der oben beschriebenen Ermüdungsuntersuchung unterzogen wurde. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 2 gezeigt.

Die Legierung Nr. 13 war in ihrer chemischen Zusammensetzung der Legierung Nr. 2 von Beispiel 1 ähnlich, die Legierung Nr. 13 hatte jedoch eine größere Korngröße der weichen Schmierungsphase. Die Legierung Nr. 14 war in ihrer chemischen Zusammensetzung der Legierung Nr. 3 von Beispiel 1 ähnlich, und die Korngröße von Si war größer. Durch die Schritte 101 bis 103, die in Fig. 1 gezeigt sind und in Beispiel 1 beschrieben sind, wurde jede der Legierungen 13 und 14 in eine fließgepreßte Platte von 60 mm Breite und 1,6 mm Dicke verarbeitet. Die Legierungsplatte wurde mit einer reinen Aluminiumplatte von 62 mm Breite und 0,4 mm Dicke plattiert, um eine Zweischicht-Lagerlegierungsplatte mit einer Dicke von 1,2 mm zu erhalten. Nach dem Glühen bei 400°C 6 h lang wurde die Zweischicht-Lagerlegierungsplatte mit einer 2 mm dicken Stahlplatte plattiert, deren Oberfläche vorher aufgeraut worden war, und das Walzen wurde durchgeführt, bis die gesamte Dicke des Plattierungslaminats auf 1,8 mm verringert war. Danach wurde das Laminat 6 h lang bei 400°C geglüht, um dadurch ein Dreischicht-Lagerlegierungsmaterial zu erhalten, das eine Stützstahlplatte enthält. Diese zwei Arten der Lagermaterialien Nr. 13 und 14 wurden entsprechend in Lagerproben bearbeitet, die der in Beispiel 1 beschriebenen Ermüdungsuntersuchung unterzogen wurden. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 2 gezeigt.

Wie aus Tabelle 1 und Fig. 2 ersichtlich ist, zeigten alle erfindungsgemäßen Lagerlegierungen Nr. 1 bis 7 gute mechanische Eigenschaften beim Abschnitt des Fließpressens und waren als Lager sowohl bei der Ermüdungsbeständigkeit als auch bei der Fähigkeit Fremdmaterial einzubetten hervorragend.

Die Lagerlegierung Nr. 11, die den Lagerlegierungen nach JP 61-12 844 ähnelt, war im Abschnitt des Fließpressens in ihren mechanischen Eigenschaften hervorragend. Beim Ermüdungsversuch war jedoch die Legierung Nr. 11 durch das Eisenspanpulver, das in dem Schmieröl enthalten war, ernsthaft beschädigt, so daß der Ermüdungsversuch nach etwa 80 h abgebrochen werden mußte. Diese unzureichende Fähigkeit Fremdmaterial einzubetten ist auf die geringe Gesamtmenge der Schmierselemente Pb und Sn in diesem Fall zurückzuführen. Die Lagerlegierung Nr. 12, die erhöhte Menge von Schmierselementen enthielt, hatte keine guten mechanischen Eigenschaften im Abschnitt des Fließpressens und hatte als Lager sehr geringe Ermüdungsbeständigkeit.

Im Fall der Lagerlegierung Nr. 13, in der die Korngröße der weichen Phase größer war, trat während der Ermüdungsuntersuchung ein Blockieren des Lagers auf der Gegenachse auf. Im Falle der Lagerlegierung 14, bei der die Si-Korngröße größer war, trat während des Ermüdungsbeständigkeitsversuches eine ernsthafte Abnutzung der Gegenachse auf.

#### Beispiel 2

Die in Tabelle 1 gezeigte Legierung Nr. 3 wurde durch die Zerstäubungs-, Preß- und Fließpreßschritte 101 bis 103, die in Fig. 1 gezeigt und in Beispiel 1 beschrieben sind, in eine 60 mm breite und 1,6 mm dicke Platte verarbeitet. Die Fließpreßtemperatur betrug 350°C, und das Fließpreßverhältnis betrug 80. Die fließgepreßte Legierungsplatte wurde mit einer 2 mm dicken Stahlplatte plattiert, nachdem die Oberflächenschicht der Stahlplatte durch Behandlung mit einem Schleifband entfernt worden war. Die Plattierlaminat wurde dem Walzen unterzogen, bis seine Gesamtdicke auf 1,8 mm reduziert war. Danach wurde das Laminat 6 h bei 400°C geglüht, um die Adhäsion zwischen der gewalzten Lagerlegierung und der Stützstahlplatte weiter zu erhöhen und ebenfalls, um die Arbeitsbeanspruchung der gewalzten Lagerlegierung abzustellen. Bei Prüfung unter dem Mikroskop wurde bestätigt, daß das Plattieren und Glühen keine bemerkenswerte Veränderung in der Struktur der Lagerlegierung erzeugt. Durch Prüfung mit einem Elektronenmikroskop wurde gefunden, daß die weichen Elemente (Pb, Sn, Sb und Bi) in der gewalzten Lagerlegierung einheitlich und fein in der Aluminiummatrix dispergiert waren und die Korngrößen dieser Elemente nicht größer als 8 µm waren.

## Beispiel 3

Die Legierung Nr. 1, die in Tabelle 1 gezeigt ist, wurde nach den gleichen Schritten wie in Beispiel 2 in eine 1,6 mm dicke Platte bearbeitet. In diesem Fall betrug die Fließpreßtemperatur 500°C. Die fließgepreßte Legierungsplatte wurde mit einer 2 mm dicken Stahlplatte plattiert, die einen 2 µm dicken Ni-Überzugsfilm aufwies, der durch Plattierung gebildet worden war, und das Laminat wurde gewalzt, bis die Gesamtdicke auf 2 mm reduziert wurde. Danach wurde das Laminat bei 400°C 6 h lang geglüht. Durch Prüfung unter dem Mikroskop wurde bestätigt, daß das Plattieren und Glühen keine merkliche Veränderung in der Struktur der Lagerlegierung erzeugte. Durch Prüfung mit einem Elektromikroskop wurde festgestellt, daß die weichen Elemente in der gewalzten Lagerlegierung einheitlich und fein dispergiert waren und ihre Korngrößen nicht größer als 6 µm waren.

Der oben beschriebene Versuch wurde unter Verwendung der Legierung Nr. 7 anstelle der Legierung Nr. 1 wiederholt. Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, daß die Legierung Nr. 7 durch Zugabe von 0,01 Gew.-% Ti, und zwar einem Kornverfeinigungselement, zur Legierung Nr. 1 erhalten wurde. Auch in diesem Fall gab es keinen merklichen Unterschied in der Struktur der Lagerlegierung vor und nach dem Plattieren und Anlassen, und in der gewalzten Lagerlegierung waren die weichen Elemente einheitlich und fein dispergiert. Bezüglich der Wirkung der Zugabe von Ti waren die Korngrößen der weichen Elemente in der gewalzten Lagerlegierung Nr. 7 nicht größer als 4 µm.

## Beispiel 4

Die in Tabelle 1 gezeigte Legierung Nr. 2 wurde durch die gleichen Schritte wie in Beispiel 2 in eine 1,6 mm dicke Platte verarbeitet. Die fließgepreßte Legierungsplatte wurde mit einer reinen Aluminiumplatte, 62 mm breit und 0,4 mm dick, plattiert, um ein Zweischicht-Laminat mit einer Dicke von 1,2 mm zu erhalten. Nach dem Glühen bei 400°C 6 h lang wurde das Zweischicht-Laminat mit einer 2 mm dicken Stahlplatte mit einer aufgerauten Oberfläche plattiert, und das Walzen wurde durchgeführt, bis die Gesamtdicke des Dreischicht-Laminats auf 1,8 mm reduziert war. Danach wurde das Laminat bei 400°C 6 h geglüht. Bei Prüfung unter dem Mikroskop gab es keinen merklichen Unterschied in der Struktur der Lagerlegierung vor und nach dem Plattieren. In der Lagerlegierung waren die Schmierungselemente einheitlich und feindispergiert und waren in der Korngröße nicht größer als 8 µm.

In den vorangegangenen Beispielen 1 bis 4 wurde eine Platte einer erfindungsgemäßen Lagerlegierung mit einer Stützmetall-Stahlplatte direkt oder mit Zwischenordnung einer plattierten Ni-Schicht oder einer dünnen Al-Platte als Adhäsionshilfschicht plattiert. Bei praktischen Anwendungen der Erfindung ist es möglich, solche Adhäsions-Hilfsmittel unter Inbetrachtung der damit verbundenen Faktoren, wie der Zusammensetzung der Lagerlegierung, insbesondere der Lagerherstellungsverfahren und -kosten, einzusetzen, und es ist ebenfalls möglich, ein verschiedenes Material einzusetzen, wie ein Al-Pulver oder eine Co-Plattierung.

Es ist ebenfalls möglich, die Wärmebehandlung der fließgepreßten Lagerlegierung vor dem Plattieren mit einem Stützmetall durchzuführen. In Abhängigkeit von den Bedingungen des Plattierens kann das Reduktionsverhältnis durch Durchführung einer Vorbereitungs-Wärmebehandlung der fließgepreßten Lagerlegierung erhöht werden.

## Beispiel 5

Beispiel 5 umfaßt sieben Arten von Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis, nämlich Nr. 21 bis 27, deren Besonderheiten in Tabelle 2 gezeigt sind. Jede dieser Legierungen wurde hergestellt, indem zuerst ein Legierungspulver auf Aluminiumbasis (I) mit einem anderen Legierungspulver auf Aluminiumbasis (II) gemischt wurde. Wie in Tabelle 2 ersichtlich ist, waren die Zusammensetzungen dieser Legierung auf Aluminiumbasis (I) und (II) variabel. (In jedem Fall bestanden die Legierungen (I) und (II) im wesentlichen aus den in Tabelle 2 genannten Legierungselementen und einem Rest aus Al.) In jedem Fall wurde jede der Legierungen auf Aluminiumbasis (I) und (II) bei 950 bis 1000°C in einem Elektroofen geschmolzen, und das geschmolzene Metall wurde in Luft zerstäubt, um ein Legierungspulver zu erhalten, das aus -18 mesh (0,91 mm)-Partikeln bestand. In jedem Fall wurde das Legierungspulver (I) einer Wärmebehandlung unterzogen, um zu bewirken, daß zumindest der Hauptteil der darin enthaltenen Si-Körner auf ein Ausmaß von 6 bis 12 µm wuchs. Dann wurden die Legierungspulver (I) und (II) miteinander in den in Tabelle 2 gezeigten Anteilen gemischt, und die Legierungspulvermischung wurde durch ein hydraulisches Kaltpreßverfahren in einen zylindrischen Barren von 100 mm Durchmesser und 100 mm Länge gepreßt. Der hydraulische Druck betrug 2000 kgf/cm<sup>2</sup> (19 613 N/cm<sup>2</sup>).

Tabelle 2

Legierungs-Nr.	Legierungselemente in den zerstäubten Aluminiumlegierungspulvern (Gew.-%)										Mischverhältnis (Gew.-%)	Legierung			Si-Korngröße (µm)	Bemerkung
	Al-Legierungspulver (I)					Al-Legierungspulver (II)						Querschnittsflächenverhältnis zur Matrix				
	Pb	Sn	Si	andere		Pb	Sn	Si	andere	(I)	(II)	Pb	Sn	Si		
21	10	1.0	8	Cu: 0.75	—	—	18	—	—	50	50	0.014	0.037	0.047	6–12	Das Legierungspulver (I) wurde zum Wachsen der Si-Körner wärmebehandelt
22	10	1.0	8	Cu: 0.75	—	—	18	—	—	70	30	0.017	0.024	0.062	6–12	
23	10	1.0	8	Cu: 0.75	—	—	18	—	—	10	90	0.0024	0.066	0.01	6–12	
24	10	1.0	8	Cr: 0.5 Cu: 0.75	—	—	18	4	Cr: 0.5 Cu: 0.75	50	50	0.014	0.037	0.07	6–12 ca. 2/3 < 3 ca. 1/3	
25	10	1.0	8	Cr: 0.5 Cu: 0.75	2	—	18	4	Cr: 0.5 Cu: 0.75	50	50	0.016	0.037	0.07	6–12 ca. 2/3 < 3 ca. 1/3	
26	12	1.8	4	Cr: 0.5 Cu: 0.75	2	—	12	2	Cr: 0.5 Cu: 0.75	30	70	0.014	0.035	0.03	6–12 ca. 2/3 < 3 ca. 1/3	
27	8	0.4	4	Cr: 0.5 Cu: 0.75	2	—	12	2	Cr: 0.5 Cu: 0.75	30	70	0.009	0.033	0.03	6–12 ca. 2/3 < 3 ca. 1/3	
28	10	1.0	8	Cr: 0.5 Cu: 0.75	—	—	18	—	—	70	30	0.017	0.024	0.062	3–6 ca. 1/2 < 3 ca. 1/2	ditto., jedoch unter bestimmter Bedingung wurde die Wärmebehandlung des Legierungspulvers (I) weggelassen
29	12	1.8	4	Cr: 0.5 Cu: 0.75	2	—	12	2	Cr: 0.5 Cu: 0.75	30	70	0.014	0.035	0.03	< 3	
31	12	1.8	4	Cr: 0.5 Cu: 0.75	2	—	12	2	Cr: 0.75 Cu: 0.75	30	70	0.014	0.035	0.03	6–12 ca. 2/3 < 3 ca. 1/3	Legierungspulver (I) wurde wärmebehandelt
32	12	1.8	4	Cr: 0.5 Cu: 0.75	2	—	12	2	Cr: 0.5 Cu: 0.75	30	70	0.014	0.035	0.03	6–12 ca. 2/3 < 3 ca. 1/3	
33	10	1.0	8	Cr: 0.5 Cu: 0.75	—	—	18	—	—	70	30	0.017	0.024	0.062	14–20	ditto., jedoch unter verschiedener Bedingung

Fig. 3 verdeutlicht das Verfahren der Herstellung der Lagerproben jeder der Legierungen Nr. 21 bis 27. Beim Schritt 111 wurde der obengenannte zylindrische Barren bei einer geeigneten Temperatur im Bereich von 200 bis 400°C in eine Legierungsplatte fließgepreßt, wobei die Temperatur vom Gehalt an Pb und Sn in der Legierung abhängt, so daß das Fließpressen ohne Hervorrufung des Schwitzphänomens durchgeführt werden konnte. Das Fließpreßverhältnis betrug mehr als 10. Der nächste Schritt 112 war die Wärmebehandlung der fließgepreßten Legierungsplatte, vorbereitend zum Walzverfahren. Beim Schritt 113 wurde die Legierungsplatte zur Dickenverringerung gewalzt, und beim Schritt 114 wurde die gewalzte Legierungsplatte gegläht. Beim Schritt 115 wurde die Legierungsplatte vorläufig mit einer reinen Al-Platte plattiert, gefolgt von Glühen im Schritt 116. Die so vorplattierte Legierungsplatte wurde beim Schritt 117 mit einer Stahlplatte plattiert, die als Stützmetall eingesetzt wurde, so daß die Aluminiumplattierung zwischen der Lagerlegierungsschicht und der Stahlplatte zwischengeschoben war. Beim Schritt 118 wurde das Lagermaterial, das durch Plattieren erhalten worden war, gegläht. Beim Schritt 119 wurde das Lagermaterial in Lagerproben bearbeitet.

Für die Lagerlegierungen Nr. 21 bis 27, die in diesem Beispiel hergestellt wurden, sind die Querschnittsflächenverhältnisse von Pb, Sn und Si zur Al-Matrix in Tabelle 2 gezeigt. In diesen Lagerlegierungen sind die Korngrößen der Schmierungselemente nicht größer als 8 µm.

Die Lagerproben waren 54 mm breit, 12 mm lang und 1,5 mm dick. Diese Lagerproben wurden einer Untersuchung der Ermüdungsbeständigkeit unter den folgenden strengen Bedingungen unterzogen.

Vereinte Lagerbelastung: 600 kgf/cm<sup>2</sup> (50 880 N/cm<sup>2</sup>)

Umdrehungen: 3750 rpm (U/min)

Schmieröl: SAE 20W-40

Ölzufuhrtemperatur: 120°C

Ölzufuhrdruck: 4,0 kgf/cm<sup>2</sup> (39,2 N/cm<sup>2</sup>)

Versuchszeit: bis zu 200 h

Achsenmaterial: Gußeisen mit Kugelgraphit FCD70

Oberflächenrauheit der Achse ( $R_{max}$ ): 1,2 µm

Achsenhärte ( $H_R$ ): etwa 310

Fig. 4 zeigt die Ergebnisse der Lagerermüdungsuntersuchung.

#### Beispiel 6

Dieses Beispiel ist zusätzlich zu Beispiel 5 und bezieht sich auf die Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis Nr. 28 und 29, deren Besonderheiten in Tabelle 2 gezeigt sind. Die Legierung Nr. 28 war in ihrer chemischen Zusammensetzung der Legierung 22 von Beispiel 5 ähnlich, und die Korngröße von Si war geringer. Die Modifizierung wurde durch Veränderung der Bedingung der Wärmebehandlung des Legierungspulvers auf Aluminiumbasis (I) durchgeführt. Die Legierung Nr. 29 war in ihrer chemischen Zusammensetzung der Legierung Nr. 26 von Beispiel 5 ähnlich, und die Korngröße von Si war sehr viel kleiner, da die Wärmebehandlung des Legierungspulvers auf Aluminiumbasis (I) weggelassen worden war. Außer der Modifizierung in diesem Punkt wurden die Legierungen Nr. 28 und 29 in der in Fig. 3 verdeutlichten und in Beispiel 5 beschriebenen Weise hergestellt und verarbeitet, und die Lagerproben wurden der im Beispiel 5 beschriebenen Ermüdungsuntersuchung unterzogen. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 4 gezeigt.

#### Vergleichsbeispiel 2

Drei Arten von Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis, nämlich Nr. 31 bis 33, deren Besonderheiten in Tabelle 2 gezeigt sind, wurden entsprechend Beispiel 5 hergestellt und verarbeitet, außer den folgenden Modifizierungen:

Die Legierung Nr. 31 und die Legierung Nr. 32 waren in ihrer chemischen Zusammensetzung der Legierung Nr. 26 von Beispiel 5 ähnlich. Im Falle der Legierung Nr. 31 wurden die Rohmaterialien so verändert, daß die Korngrößen der Schmierungselemente 10 bis 15 µm betrugen. Im Falle der Legierung Nr. 32 wurde das Fließpreßverhältnis auf 8 verringert. Die Legierung Nr. 33 war in der chemischen Zusammensetzung der Legierung Nr. 22 von Beispiel 5 ähnlich, und die Korngröße von Si war größer.

Lagerproben der Legierungen Nr. 31 bis 33 wurden der in Beispiel 5 beschriebenen Ermüdungsuntersuchung unterzogen. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 4 gezeigt. Aus Fig. 4 ist ersichtlich, daß die Lagerlegierungen Nr. 21 bis 27, die nach dem bevorzugten ersten erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurden, in ihrer Ermüdungsbeständigkeit und Haltbarkeit hervorragend waren. Im Vergleich waren die Lagerlegierungen Nr. 28 und 29 aufgrund des unzureichenden oder weggelassenen Wachstums der Si-Körner in ihrer Ermüdungsbeständigkeit geringer. Die Vergleichslagerlegierungen Nr. 31, 32 und 33, die oben erwähnt sind, wurden alle als bei der Haltbarkeit oder Gleichförmigkeit unterlegen bestätigt.

#### Beispiel 7

Beispiel 7 umfaßt sieben Arten von Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis, nämlich Nr. 41 bis 47, deren Besonderheiten in Tabelle 3 gezeigt sind. Jede dieser Legierungen wurde hergestellt, indem zuerst ein Legierungspulver auf Aluminiumbasis (I) mit einem Aluminium-Silicium-Legierungspulver (II) vermischt wurde. Wie in Tabelle 3 gezeigt, waren die Zusammensetzungen der Legierungen (I) und (II) variabel. In jedem Fall bestand die Legierung (I) im wesentlichen aus zumindest einem Schmierungselement, zumindest einem Verstärkungselement und dem Rest Al. Die Legierung (I) wurde durch Schmelzen der Rohmaterialien bei 950 bis 1000°C in einem Elektroroofen hergestellt, und die geschmolzene Legierung wurde in Luft zerstäubt, um das Legierungspul-



ver (I) zu erhalten, das aus Partikeln von  $-18$  mesh ( $0,910$  mm) bestand. In jedem Fall war die Legierung (II) eine Al-Si-Zweistofflegierung, die durch Schmelzen bei oder leicht oberhalb  $750^{\circ}\text{C}$  in einem Elektroofen hergestellt wurde, und die geschmolzene Legierung wurde in Luft zerstäubt, um ein Legierungspulver (II) zu erhalten, das aus Partikeln von  $-18$  mesh ( $0,91$  mm) bestand. In jedem Fall wurde das Legierungspulver (II) bei  $350$  bis  $550^{\circ}\text{C}$  wärmebehandelt, damit die Si-Körner auf ein Ausmaß von  $6$  bis  $12\text{ }\mu\text{m}$  wachsen können. Danach wurden die Legierungspulver (I) und (II) mit den in Tabelle 3 gezeigten Verhältnissen miteinander vermischt, und die Legierungspulvermischung wurde durch ein hydraulisches Kaltpreßverfahren in einen zylindrischen Barren von  $100$  mm Durchmesser und  $100$  mm Länge gepreßt. Der hydraulische Druck betrug  $2000\text{ kgf/cm}^2$  ( $19\ 613\text{ N/cm}^2$ ).

Tabelle 3

Legierungs-Nr.	Legierungselemente in den zersärbten Aluminiumlegierungspulvern Al-Legierungspulver (I)															Mischungsverhältnis (Gew.-%)		Lagerlegierungselemente		Si- korn- größe  
----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------------------------	--	-------------------------	--	---

Die zylindrischen Barren der Legierungen Nr. 41 bis 47 wurden jeder in der in Fig. 3 gezeigten Weise bearbeitet. Beim Schritt 111 wurde der Barren in eine Legierungsplatte bei einer Temperatur fließgepreßt, die geeignet ist, um das Schwitzphänomen zu verhindern. Die Fließpreßtemperatur war im Bereich von 200 bis 400°C und war variabel, was vom Gehalt der Schmierungs-elemente in der Legierung abhängt. Das Fließpreßverhältnis war größer als 10. Die fließgepreßte Legierungsplatte wurde in der gleichen Weise wie in Beispiel 5 bearbeitet: vorläufige Wärmebehandlung im Schritt 112 in Fig. 3, Walzen beim Schritt 113, Glühen beim Schritt 114, vorläufiges Plattieren mit einer Al-Platte beim Schritt 115, Glühen bei 116, Plattieren mit einer Stahlplatte beim Schritt 117, Glühen beim Schritt 118 und Bearbeiten in Lagerproben beim Schritt 119.

Für die Lagerlegierungen Nr. 41 bis 47, die in diesem Beispiel hergestellt wurden, sind die Mengen der Schmierungs-elemente, der Verstärkungselemente und des Si in Tabelle 3 gezeigt, und die Korngrößen der Schmierungs-elemente waren nicht größer als 8 µm.

Die Lagerproben wurden einer Untersuchung der Ermüdungsbeständigkeit unter den in Beispiel 5 beschriebenen Bedingungen unterzogen. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 5 gezeigt.

#### Beispiel 8

Dieses Beispiel ist zusätzlich zu Beispiel 7 und bezieht sich auf eine Lagerlegierung auf Aluminiumbasis Nr. 48, deren Besonderheiten in Tabelle 3 gezeigt sind. Diese Legierung Nr. 48 kann als Modifizierung der Legierung Nr. 46 von Beispiel 7 angesehen werden. Das Legierungspulver auf Aluminiumbasis (I), das zur Herstellung der Legierung Nr. 48 verwendet wurde, enthielt zusätzlich zu den Schmierungs-elementen und den Verstärkungselementen, die im Fall der Legierung Nr. 46 verwendet wurden, Si. Das Legierungspulver (I) wurde durch Luftzerstäubungsverfahren erhalten und bestand aus Partikeln von -18 mesh (0,91 mm). Ohne Vermischen mit irgendeinem anderen Legierungspulver entsprechend dem Al-Si-Legierungspulver (II) in Beispiel 7 wurde das Si-haltige Legierungspulver auf Aluminiumbasis (II) unter Anwendung eines hydraulischen Druckes von 2000 kgf/cm<sup>2</sup> (19 613 N/cm<sup>2</sup>) bei Normaltemperatur in einen zylindrischen Barren von 100 mm Durchmesser und 100 mm Länge gepreßt. Das Si-haltige Legierungspulver (I) wurde ohne irgendeine Wärmebehandlung verwendet, so daß die Korngröße des Si nicht größer als 3 µm war.

Die Lagerproben dieser Lagerlegierung Nr. 48 wurden ebenfalls der Prüfung der Ermüdungsbeständigkeit, wie sie in Beispiel 5 beschrieben ist, unterzogen. Die Ergebnisse dieses Versuches sind in Fig. 5 gezeigt.

#### Vergleichsbeispiel 3

Drei Arten von Lagerlegierungen auf Aluminiumbasis, nämlich Nr. 51 bis 53, deren Besonderheiten in Tabelle 3 gezeigt sind, wurden entsprechend Beispiel 7 hergestellt und bearbeitet, außer der folgenden Modifikationen.

Die Legierung Nr. 51 und die Legierung Nr. 52 waren in ihrer chemischen Zusammensetzung der Legierung Nr. 42 von Beispiel 7 identisch. Im Falle der Legierung Nr. 51 wurden die Wärmebehandlungsbedingungen so geändert, daß die Korngrößen der Schmierungs-elemente 10 bis 15 µm betrugen. Im Falle der Legierung Nr. 52 wurde das Fließpreßverhältnis auf 8 verringert. Die Legierung Nr. 53 war in ihrer chemischen Zusammensetzung der Legierung Nr. 43 von Beispiel 7 identisch, und die Korngröße von Si war größer.

Lagerproben der Legierungen Nr. 51 bis 53 wurden der in Beispiel 5 beschriebenen Untersuchung der Ermüdungsbeständigkeit unterzogen. Die Versuchsergebnisse sind in Fig. 5 gezeigt.

Wie aus Fig. 5 ersichtlich ist, waren die Lagerlegierungen Nr. 41 bis 47, die nach dem bevorzugten zweiten erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt waren, in ihrer Ermüdungsbeständigkeit und Haltbarkeit hervorragend. Im Vergleich ist die Lagerlegierung Nr. 48, die nach einem unterschiedlichen Verfahren hergestellt wurde, aufgrund der geringen Korngröße von Si, in ihrer Ermüdungsbeständigkeit geringer. Eine geringere Haltbarkeit oder Gleichförmigkeit wurde für die Vergleichslagerlegierungen Nr. 51, 52 und 53, die oben erwähnt sind, bestätigt.

- Leerseite -

Nummer: 36 40 698  
 Int. Cl. 4: C 22 C 21/12 *nicht*  
 Anmeldetag: 28. November 1986  
 Offenlegungstag: 4. Juni 1987

FIG. 1

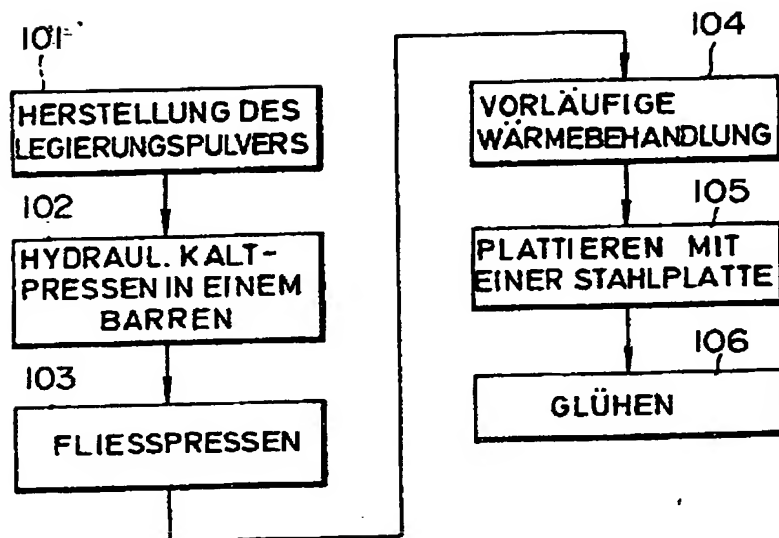


FIG. 2

LEGIERUNG NR.		ZEITDAUER (h)			FEHLERART
		50	100	150	
BSP. 1	1				ABPLATZEN
	2				ABPLATZEN
	3				ABPLATZEN
	4				REISSEN
	5				ABPLATZEN
	6				REISSEN
	7				ABPLATZEN
VGL. BSP. 1	11				BESCHÄDIGT
	12				ABPLATZEN
	13				BLOCKIEREN
	14				ACHSENABNUTZ.



FIG.3

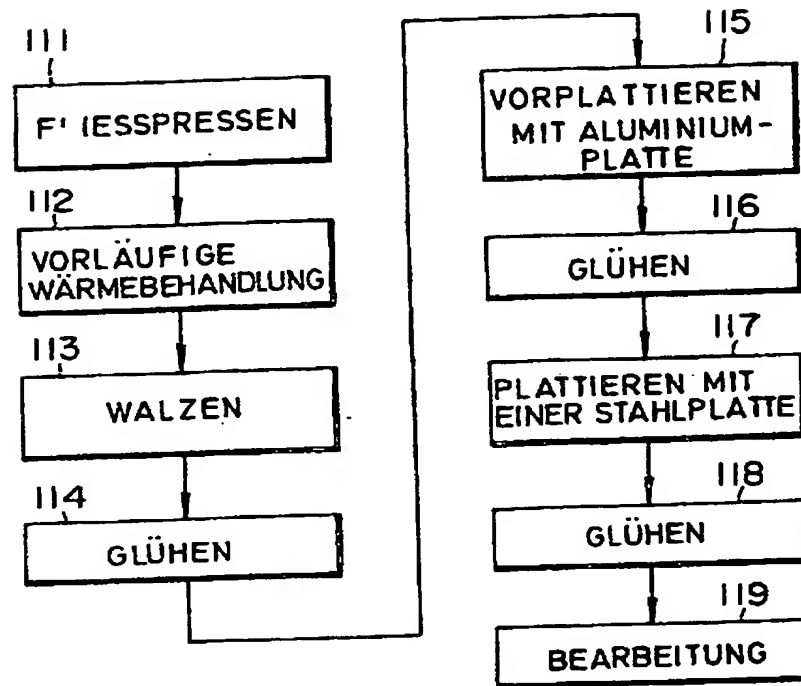


FIG.4

LEGIERUNG NR.		ZEITDAUER (h)			FEHLERART
		50	100	150	
BSP. 5	21	[Hatched bar]			ABPLATZEN
	22	[Hatched bar]			ABPLATZEN
	23	[Hatched bar]			ABPLATZEN
	24	[Hatched bar]			KEIN FEHLER
	25	[Hatched bar]			KEIN FEHLER
	26	[Hatched bar]			KEIN FEHLER
	27	[Hatched bar]			ABPLATZEN
BSP. 6	28	[Hatched bar]			ABPLATZEN
	29	[Hatched bar]			ABPLATZEN
VGL. BSP. 2	31	[Hatched bar]			ÖRTL.BLOCKIEREN
	32	[Hatched bar]			ÖRTL.REISSEN
	33	[Hatched bar]			ACHSENABNUTZ.

3640698

FIG.5

LEGIERUNG NR.		ZEITDAUER (h)	FEHLERART
		50 100 150	
BSP. 7	41		ABPLATZEN
	42		ABPLATZEN
	43		REISSEN
	44		ABPLATZEN
	45		ABPLATZEN
	46		ABPLATZEN
	47		REISSEN
BSP. 8	48		ABPLATZEN
VGL. BSP. 3	51		BLOCKIEREN
	52		REISSEN
	53		ACHSENABNUTZ.